

Title	差動歯車を用いたステアリング機構の開発
Author(s)	
Citation	令和2（2020）年度学部学生による自主研究奨励事業 研究成果報告書
Issue Date	2021-04
oaire:version	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/80652">https://hdl.handle.net/11094/80652</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

## 令和2年度大阪大学未来基金「学部学生による自主研究奨励事業」研究成果報告書

ふ 氏	り が な 名	のぼりお ゆうへい 登尾悠平	学部 学科	工学部 地球総合工 学科	学年	2年					
ふりがな 共 同 研究者氏名		やまさき さとむ 山崎 哲陸	学部 学科	工学部 電子情報工 学科	学年	2年					
		よこやま よしひろ 横山 喜大		工学部 電子情報工 学科		2年					
						年					
アドバイザー教員 氏名		いしかわ まさと 石川 将人	所属	工学研究科 機械工学専攻							
研究課題名		差動歯車を用いたステアリング機構の開発									
研究成果の概要		研究目的、研究計画、研究方法、研究経過、研究成果等について記述すること。必要に応じて用紙を追加してもよい。(先行する研究を引用する場合は、「阪大生のためのアカデミックライティング入門」に従い、盗作懸念にならないように引用部分を明示し文末に参考文献リストをつけること。)									

## 1. 研究背景・目的

ロボットの全方位置動機構には、オムニホイールやメカナムホイールがよく用いられる。これらは比較的単純な機構で全方位置動を実現できるが、モーターの出力が最大限発揮できないという欠点がある。この欠点を回避し、モーターの出力を最大限利用する方法としては、すべての車輪を任意の方向に変えられるステアリング機構が存在する。実際にほかの全方位置動機構に比べても、スピードが出せる傾向にある。しかし更なる欠点として、方向転換用のモーターは直線走行時には使用しないため、まっすぐ進むときには、方向転換用のモーターがある種の“おもり”になってしまうということが挙げられる。この欠点を克服するため、2つのモーターをどちらも利用して走行できるように、ステアリング機構に差動歯車を用いる、という着想に至った。

この機構は、海外では用いられることがあるが、マシニングセンタなどを用いた複雑な部品が用いられており、自分たちで製作するには適さず、整備の点からも好ましくない。そのため、より入手性が良く、単純な仕組みで同様の動きができる機構を開発することにした。本研究では、ステアリング用の差動装置に平歯車デブを用いており、この機構がロボットの移動機構として実用的であるかを確認することに目的を置く。

## 2. 機構の開発

### 2-1. 機構と動作原理

まず、本研究で製作した機構の説明を行う。機構の外観は図1のようになっており、4つのユニットから構成されている。1つのユニットには RZ735 モーター2つからなるモーターユニットと、差動装置1組を組み込んでいる。モーターユニットから差動装置への動力伝達は、機構の小型軽量化のため、タイミングベルトを用いた。

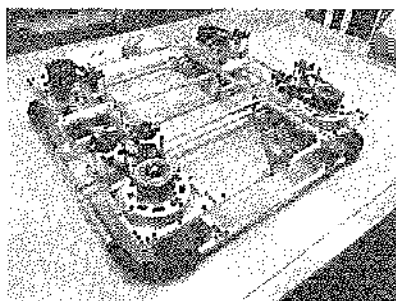


図1：機構の外観

差動装置内の構造は図2のようになっており、金属ギアを用いることで大きな負荷にも耐えられるようにしている。また、差動装置から車輪へは傘歯車を用いて動力伝達を行っている。



図2：ユニットの分解図

今回の研究では、車軸を支える部品に3Dプリンター製の部品を用いているが、強度の観点からはCNCフライスを用いた金属製部品で製作することが好ましいと考えられる。これらのユニットを収めるフレームは、アルミ角管を用いて製作した。POM板でそれぞれの角管を締結する簡素な作りにして、ユニット以外の部分の軽量化を図っている。さらに、万が一暴走した場合に

備え、角を丸め緩衝材で保護したバンパーや非常停止ボタンのマウント等を設置している。  
機体の諸元は以下のとおりである。

表 1 : 機体の諸元

機体重量	約 9.9 kg(回路・バッテリー除く)
機体サイズ	600 mm×600mm
モーター	RS785 ユニットごとに 2 つ計 8 つ使用
エンコーダー	CUI Inc.製 AMT102-V 各モーターに 1 つずつ使用
電源	3 セル 20C リポバッテリー 2 つ
ユニット重量	約 2.1kg 4 つ

次に、差動歯車を用いたステアリング機構の動作原理について説明する。

この機構は、差動歯車を用いて 2 つのモーターの出力の差でステアリングするようになっている。2 つのモーターの回転角とステアリング角、車輪の回転角の関係は以下のようにして導出できる。

ユニットを上から見た場合を考え、モーターの回転角 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ ・ステアリング角 $\phi_1$ を反時計回り正として定義する。また、車輪の回転角 $\phi_2$ は車輪とつながっている差動装置の外側の平歯車が反時計回りに回った時の回転方向を正とする。

図 3 の中心上側の歯車(以下、中心歯車 1)がモーター 1、中心下側の歯車(以下、中心歯車 2)がモーター 2 につながっているとすると、モーターとこれらの歯車との回転比は 4 : 1 なので中心歯車 1、2 の回転角はそれぞれ $\frac{1}{4}\theta_1$ 、 $\frac{1}{4}\theta_2$ である。

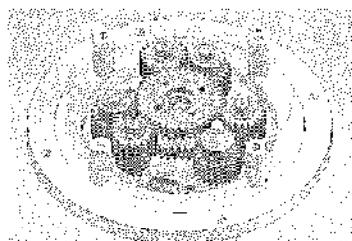


図 3 : 差動装置の内部の様子

遊星歯車の回転数計算で用いられるのりづけ法と同様の方法を用いて、平歯車デフ全体を反時計回りに  $a^\circ$  回転した後、中心歯車 1 を反時計回りに、中心歯車 2 を時計回りに  $b^\circ$  回すことを考える。

このとき、中心歯車 1、2 の回転角はそれぞれ $(a+b)^\circ$  と $(a-b)^\circ$  となることから

$$\theta_1 = 4(a+b) \quad \dots (1)$$

$$\theta_2 = 4(a-b) \quad \dots (2)$$

となり、これを  $a$ 、 $b$  について解くと、

$$a = \frac{1}{8}(\theta_1 + \theta_2) \quad \dots (3)$$

$$b = \frac{1}{8}(\theta_1 - \theta_2) \quad \dots (4)$$

ここで、 $a^\circ$  がステアリング角に相当し、中心歯車と周囲の歯車比が 2 : 1 であり、車輪と差動装置は 1 : 3 の傘歯車で伝達されていることから  $\frac{2}{3}b^\circ$  が車輪の回転角に相当することを考えると、

$$\varphi_1 = \frac{1}{8}(\theta_1 + \theta_2) \quad \dots (5)$$

$$\varphi_2 = \frac{1}{12}(\theta_1 - \theta_2) \quad \dots (6)$$

これを行列表示すると次のように表すことができる。

$$\begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{8} & \frac{1}{8} \\ \frac{1}{12} & -\frac{1}{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{bmatrix} \quad \dots (7)$$

## 2-2. 回路

STM32F767ZI NUCLEO マイコンボード用いて目標値の計算を行うメイン基板を作成した。また、STM32F303K8 マイコンを用いてモーター 1 つ毎の制御を行うモータドライバ基板を作成した。モータドライバ基板はメイン基板から CAN 通信を用いてモーターの出力値を受け取り、その値に応じてモーターの出力を PID 制御する。

## 2-3. 制御

この移動機構が、適切な入力をすればまっすぐ進むかどうかを確認することを目的とする。動作確認のため 2 通りの制御を行った。1 つ目は、速度を一定に保つようにモーターの回転数を PID 制御する方法、2 つ目は、目標値を時間ごとに増加させ、その値を目標位置とした PID 制御を行う方法である。それぞれの方法について機体がどのような挙動を取ったかは次項の実験内容で述べる。

## 3. 実験内容

2-3 で述べた 2 通りの制御方法で制御した場合の挙動を比較する。

まず、1 つ目の速度を一定に保つように PID 制御を行った場合(速度制御)について、機体の変位を測定し速度を推定する。機体の変位の測定は、1 秒間隔で機体後方のフレームに合わせ床面に印をつけるという方法で行う。つけた印について、中心線方向の距離(x 方向変位)、中心線からの横方向のズレ(y 方向変位)、印を延長した線と印の中心から中心線に向かって垂線を降ろしてできる直角三角形の斜辺にあたる長さを測定する。図 4 は、つけた印と機体を止めた位置、機体の傾きの様子であり、図 5 は測定値から計算した速度のグラフ、図 6 は機体の傾きを表すグラフである。

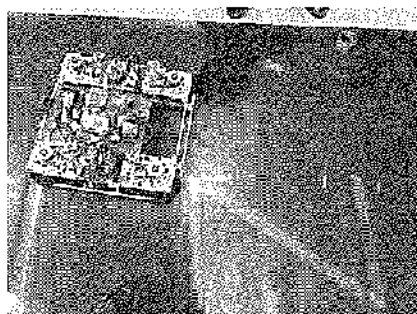


図 4 : 速度制御での機体の様子

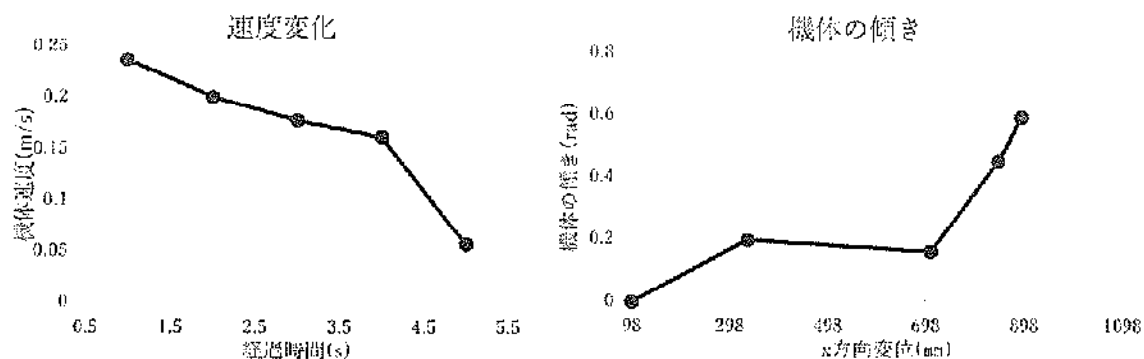


図5: 速度制御での機体の速度

図6: 速度制御での機体の傾きの変化

機体の傾きについて、印付けに失敗した箇所があり外れ値として除外している。

機体の速度は、動き始めてすぐに低下していることが読み取れる。また、動き始めてすぐ機体が傾き始めていることが読み取れる。

次に、2つ目の目標値を時間ごとに増加させ、その値を目標位置としたPID制御を行う方法の場合(位置制御)について、動作の様子を観察し、機体速度を測定する。結果としては速度制御より格段に直進性が良くなり、中心線に沿ってまっすぐ進むようになった。また、速度も向上したため速度制御のときと同様の方法では機体の動きの解析ができなくなった。そこで、機体の後方にメジャーを取り付けて、機体に引っ張らせその様子を動画で撮影することで、目盛を読み取り、機体速度を推定することとした。この方法により求めた機体速度をプロットしたものが図7のグラフとなる。

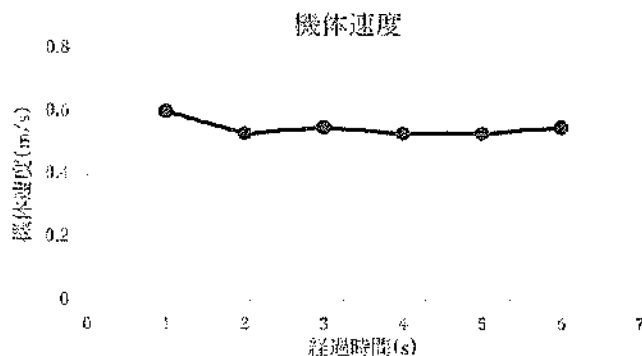


図7: 位置制御での機体速度

このグラフからは、位置制御を用いた場合、機体速度がほとんど一定であることが読み取れる。位置制御を用いた場合は、少しずつ機体が中心線から逸れるものの、速度制御の時のように動き出してすぐ傾き進まなくなるといったことは無くなった。

#### 4. 考察

まず、速度制御と位置制御の比較を行う。

速度制御では、動き出しと同時に速度が下がっており、ほとんどまっすぐ進むことなく、車輪が傾いてしまいまっすぐ進むことができていないように見受けられる。また、1mも進むことができていないことから、速度制御はこの機体の制御には適切でないと考えられる。

位置制御では、車輪の傾きによって途中で止まることなく、速度もほとんど一定となっているこ

とから、速度制御に比べ格段に直進性が上がっており、適切な出力をおこなうことができていると考えられる。

位置制御で直進性が上がっている要因として、速度制御では速度に PID 制御を行っており、車輪が傾いても元の方向に戻すような出力がされないのに対し、位置制御では、位置に対して PID 制御を行っているため、多少の傾きだと元の方向に戻すような出力がされるようになっていることが挙げられる。

## 5. 結論

今回の研究では、差動機構を用いたステアリング機構は、制御方法によってある程度思ったように動かすことができることが分かった。位置制御における目標位置を、コントローラーからの入力に応じて変化させれば、機体を操縦することも可能であると思われる。実験では、定量的に測定することがかなわなかったが、ユニットの個体差による影響が大きいことが機体の動きを観察することから判明しているので、より高精度に機体を製作することにより、さらに制御を行いやすくなると思われる。しかし、2 つのモーターを正確に同期させる必要があることや、ステアリングの角度と車輪の回転が独立していないことから、正確に経路追従を行ったり、精度よく地点間移動を行ったりすることは非常に難しいと考えられる。差動機構を用いたステアリング機構を実用的に使用するには、この点を解決する必要があるため、実用的なロボットの移動機構として実際に利用するには、さらなる研究が必要である。

## 6. 参考文献

- [1] 岩本太郎, 実用メカニズム事典 機械設計の発想力を鍛える機構 100 選, 森北出版, 2020